

Конкурсный проект

«Воздушно-алюминиевая электрохимическая энергоустановка для малоразмерного беспилотного летательного аппарата с электродвигателем и воздушным винтом»

Цель проекта

Разработать батарейные модули воздушно-алюминиевых (ВА) химических источников тока (ХИТ) для эффективного использования в малоразмерных беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) с электродвигателем (электродвигателями) и воздушным винтом (винтами), обеспечивающих существенное повышение времени активного полета и других тактико-технических характеристик БПЛА.

Актуальность проекта

Разработка энергоустановки (ЭУ) для малоразмерного БПЛА на основе ВА ХИТ, как основного источника энергии, является актуальной задачей, так как ВА ХИТ обладает следующими основными характеристиками:

1. Удельной энергией более 250Вт·ч/кг (до 300-350 Вт·ч/кг) и удельной мощностью до 300 Вт/кг.
2. Низкой стоимостью батареи ~200\$ за кВт·ч запасаемой емкости при ресурсе более 3000 часов.
3. Экологической, пожаро- и взрывобезопасностью при хранении, эксплуатации и утилизации (в ВА ХИТ отсутствуют пожароопасные компоненты, а также компоненты вредные для окружающей среды или человека).

На сегодняшний день среди серийно выпускаемых источников тока по данной совокупности свойств альтернативы для ВА ХИТ нет.

Принцип работы и устройство ВА ХИТ

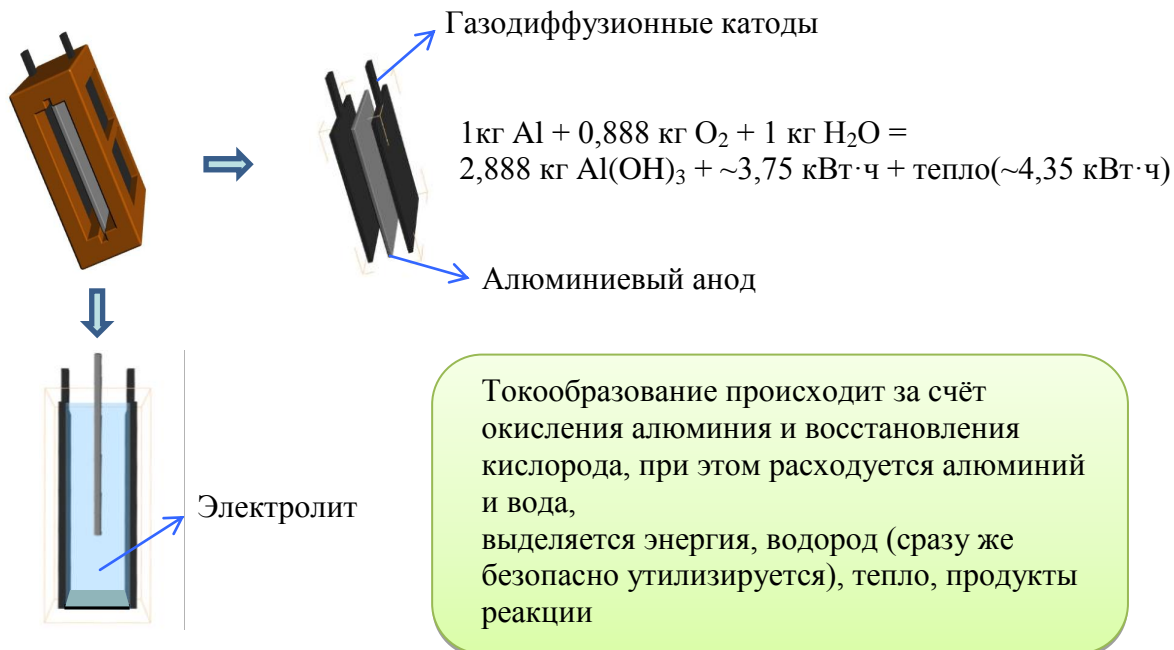
ВА ХИТ являются одним из типов металл-воздушных ХИТ, отличающихся тем, что горючее находится в твердом, состоянии, что обеспечивает снижение габаритных (объемных) характеристик горючего, а также удобство и безопасность его длительного хранения в любых условиях без использования дополнительных мер пожарной безопасности. Кроме того, ВА ХИТ, в отличие от аккумуляторов, не имеют саморазряда и способны сохранять свои энергетические характеристики в течение длительного времени до момента начала работы (более 25 лет).

ВА ХИТ являются первичными источниками тока, расходующими алюминий, как горючее. При этом КПД ВА ХИТ на рабочем режиме составляет 48-50%, что позволяет использовать выделяющуюся тепловую энергию для поддержания температуры ВА ХИТ при работе на сильно отрицательных температурах. При работе ВА ХИТ выделяется незначительное количество водорода (примерно 3% алюминия при работе расходуется на реакцию коррозии), которое тут же безопасно утилизируется на каталитических мембранах.

Важным преимуществом ВА ХИТ является механическая перезаправка расходуемыми компонентами (алюминий, электролит). Перезаправка осуществляется в течение нескольких минут (1-5 минут), не требует наличия внешнего источника электроэнергии (электросети) и может осуществляться непосредственно в полевых условиях. Быстрая перезаправка компонентов в ВА ХИТ способна позволить БПЛА находиться в воздухе практически без перерывов.

Продуктом реакции в ВА ХИТ является экологически безопасный гидроксид алюминия $Al(OH)_3$, который может быть легко регенерирован до исходного чистого алюминия по действующей промышленной технологии.

Модель ячейки ВА ХИТ



Безопасные реагенты:

Алюминий, кислород, вода



Продукт реакции:

Гидроксид алюминия

Преимуществами ВА ХИТ также являются:

- Возможность хранения источника до начала работы без потери характеристик – более 25 лет.
- Рабочий диапазон температур: $-50 \text{ C} - +50 \text{ C}$.
- Отсутствие шума при работе.
- Механическая перезаправка без использования электросети.
- Полная экологическая безопасность, как расходуемых веществ (топлива), так и продуктов реакции.
- Высокая распространённость алюминия в земной коре.
- Для разработки батарейных модулей ВА ХИТ могут использоваться только отечественное сырьё и компоненты, что обеспечивает импортонезависимость для данного типа источника тока.
- Разрабатываемые батарейные модули ВА ХИТ при некоторой адаптации могут также быть использованы и в других видах техники: робототехнике различного назначения, автономных, мобильных и аварийных системах энергоснабжения и др.

Решаемые задачи проекта

На сегодняшний день рост спроса на БПЛА и их услуги наблюдается по всему миру, что отмечается рядом аналитических агентств: GfK, BI Intelligence и др. БПЛА находят широкое применение как средства воздушного мониторинга: состояния ЛЭП, газопроводов, сельскохозяйственных угодий, картографирование и т.п. Однако для БПЛА все еще остро стоят проблемы повышения их тактико-технических характеристики, а именно:

1. Увеличение продолжительности полета БПЛА в 1,5-2 раза.
2. Снижение шума (по сравнению с БПЛА на двигателе внутреннего сгорания) и обеспечение неизменной центровки БПЛА во время полета (за счет отсутствия изменения массы топлива).
3. Расширение возможностей применения БПЛА в разных географических регионах – в том числе для арктических целей.
4. Расширение диапазона задач, решаемых с помощью БПЛА - за счет существенно большего запаса энергии в ЭУ.
5. Повышение надежности и безопасности эксплуатации БПЛА за счет отсутствия пожароопасных компонентов в основном источнике энергии.

Достиженные результаты

Для БПЛА планерного типа были созданы экспериментальные образцы модулей батарей ВА ХИТ (рис. 1, 2), которые использовались в качестве основных источников энергии (обеспечивающих номинальную мощность для крейсерского полета БПЛА и подзаряд аккумуляторов) в составе комбинированной ЭУ совместно с буферными литий-ионными (литий-полимерными) (Li-ion, Li-pol) аккумуляторными батареями (покрывающими временные пики мощности).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1. а), б) - экспериментальный образец комбинированной ЭУ для БПЛА, состоящей из двух батарейных модулей ВА ХИТ мощностью по 100 Вт и одной Li-Pol аккумуляторной батареи на испытательном стенде; в), г) - экспериментальные образцы модулей ВА ХИТ мощностью 100 Вт каждая.

Характеристики комбинированной ЭУ и батарейных модулей ВА ХИТ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики комбинированной ЭУ и батарейных модулей ВА ХИТ

Масса двух модулей ВА ХИТ	1000 г
Суммарная масса комбинированной ЭУ	1200 г
Мощность номинальная	200 Вт
Мощность максимальная	500 Вт (2 пика по 20 сек)
Удельная энергия воздушно-алюминиевых батарейных модулей	270 Вт·ч/кг
Суммарная удельная энергия для всей комбинированной ЭУ (вместе с аккумуляторной батареей и коммутацией)	230 Вт·ч/кг
Время непрерывной работы	70-80 минут

По результатам испытаний комбинированная ЭУ превзошла по времени работы более чем в два раза вариант ЭУ такой же массы исключительно на Li-Pol аккумуляторах.

Разрабатываемые (и уже достигнутые) в данном проекте результаты по созданию батарейных модулей ВА ХИТ могут с достаточной степенью универсальности подходить, как для БПЛА планерного типа, так и для мультироторного. Однако в мультироторных

БПЛА необходимость применения комбинированных ЭУ отпадает ввиду отсутствия высоких пиков мощности в циклограмме полета, и ВА ХИТ становится единственным источником энергии.

В ходе реализации проекта в 2016 году были получены следующие основные результаты:

1) Проведены экспериментальные исследования по уточнению физико-математической модели массообмена в ВА ХИТ для проверки возможности использования их на БПЛА в условиях высокогорных районов с пониженной концентрацией кислорода.

По результатам работы:

а) сделан доклад на конференции: Огорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Массообмен в химических источниках тока с алюминием в качестве энергоносителя и его влияние на характеристики электрохимических энергетических установок ракетно-космической и авиационной техники / XL Академические чтения по космонавтике. 26-29 января 2016 г. Сборник тезисов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. С. 68-69;

б) опубликована статья в Журнале физической химии (Scopus): Н. С. Огорокова, К. В. Пушкин, С. Д. Севрук, А. А. Фармаковская, Водный баланс электролита электрохимических устройств с расходуемым алюминиевым анодом // Журнал физической химии, 2017, том 91, № 8, с. 1–8.

2) Исследована возможность использования аддитивных технологий для изготовления элементов конструкции батареи ВА ХИТ, которые способны существенно снизить время производства (отсутствует потребность создания литейных форм или фрезерования), а также снизить массу батареи на ~15-20%. Создана экспериментальная ВА ячейка (рис. 2).



а)



б)

3) Разработан эскиз конструкции батарейного модуля ВА ХИТ для БПЛА вертикального взлета-посадки, реализуемого группой разработчиков из МАИ.

4) Для повышения удобства использования батарейного модуля ВА ХИТ разработана концепция сменных картриджей с расходуемыми компонентами (создан эскиз конструкции). Применение подобных картриджей сделает замену расходуемых компонентов в ВА ХИТ (анодные пластины и электролит) более удобной и максимально быстрой (1-2 минуты).

Рисунок 2. а) – модель экспериментальной ячейки для изготовления аддитивными технологиями; б) – фотография изготовленной экспериментальной ячейки.

Проект был представлен на Конкурсе инновационных проектов в рамках ежегодной национальной выставки ВУЗПРОМЭКСПО-2016, где занял первое место.

Энергоустановка на основе ВА ХИТ для БПЛА коммерчески эффективна и остро востребована на стремительно развивающемся рынке малоразмерных полностью электрических БПЛА, так как она в 3-5 раз дешевле (при серийном производстве) современных Li-Pol и Li-ion аккумуляторов и в 5-10 раз дешевле кислород-водородных топливных элементов, и при этом обладает существенно большей (в 1,5-2 раза) удельной энергией, чем Li-ion и Li-Pol аккумуляторы.

К батареям ВА ХИТ и к разрабатываемому в МАИ комплексу БПЛА + ВА ХИТ уже проявили интерес промышленные компании: ОК «РУСАЛ», АО «ЕвроСибЭнерго»; и инновационные компании: ГК «Геоскан», ООО «Агрокультура», ООО «Агроноут». От ОК «РУСАЛ» получено предварительное согласие на софинансирование проекта в случае его поддержки со стороны существующих институтов развития. С АО «ЕвроСибЭнерго» на данный момент ведутся переговоры по разработке БПЛА длительного полета для мониторинга ЛЭП.